

EFECTOS DE LA OPERACION DE LA CENTRAL CANUTILLAR SOBRE
LA PRODUCCION DE ALGAS EN EL SECTOR DE PIEDRA AZUL, X REGION

I. RESULTADOS GENERALES

REQUIRENTE : EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD S. A.
Gerente General: HIRAM PEÑA HERNANDEZ

Ejecutor : INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP
Director Ejecutivo: ROBERTO CABEZAS BELLO
Jefe División Recursos: ALFREDO SANHUEZA SEGUEL

Autores : CRISTIAN JELVEZ
BERNABE SANTELICES

Colaborador : Hugo Robotham

Febrero 1986

INDICE

	<u>Pág.</u>
I. INTRODUCCION	1
II. METODOLOGIA	3
1. Area de estudio	3
2. Desarrollo de investigaciones	3
2.1 Reunión de antecedentes bibliográficos	3
2.2 Prospección del área de localización	6
2.2.1 Río Chamiza y sus afluentes	6
2.2.2 Condiciones oceanográficas en Piedra Azul	7
2.2.3 Prospección del recurso	7
2.3 Análisis y evaluación de los resultados	7
III. PRINCIPALES RESULTADOS	9
1. Río Chamiza y sus afluentes	9
2. Prospección del recurso	11
3. Condiciones oceanográficas en Piedra Azul	12
IV. ANALISIS Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS	16
1. Efecto del caudal del río sobre la terraza y la pradera de algas	16
1.1 Aumento de la salinidad	16
1.2 Aporte de nutrientes	17
1.3 Aporte de sedimentos	18
2. Situación actual de la pradera de <u>Gracilaria</u>	24
V. ACTIVIDADES ACUICOLAS DESARROLLADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO	29
1. Pradera de algas <u>Gracilaria</u>	29
2. Cultivo de salmones	30

VI. PROYECCIONES Y PERSPECTIVAS	32
1. Corte del aporte de sedimentos suspendidos desde el río Chamiza y estado actual de la pradera	33
2. Disminución del sedimento aportado por el río con manejo racional de la pradera	34
VII. NECESIDADES DE ESTUDIO	35
1. Antecedentes	35
2. Identificación de estudios	35
2.1 Análisis del caudal y de los sedimentos	36
2.2 Análisis más detallado de la terraza	36
2.3 Estudio oceanográfico de balance de nutrientes y salinidad	36
2.4 Estudios de productividad del alga	37
2.5 Estudios de plantación y arraigamiento	37
2.6 Estudios de manejo de la pradera	37
2.7 Prospección de la pradera de Piedra Azul	38
3. Estudios recomendados para su desarrollo por ENDESA	38
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40

EQUIPO DE INVESTIGACION

Cristián Jélvez	Jefe de Proyecto
Renato Westermeier	Especialista en algas
Benabé Santelices	Especialista en algas
José Blanco	Oceanógrafo
Hugo Campos	Limnólogo
Rolando Kelly	Oceanógrafo
Alfonso Campusano	Oceanógrafo físico
Wladimir Steffen	Limnólogo físico
Jorge Aldayuz	Ingeniero geomensor
Hugo Robotham	Estadístico-matemático
Gloria Aguero	Laboratorista químico
Raúl Arriagada	Ayudante de campo

I. INTRODUCCION

Frente a las futuras necesidades de energía eléctrica en la IX y X Región del país, la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA), ha proyectado la instalación y operación de una central hidroeléctrica, denominada Canutillar, cuyo abastecimiento de agua estará basado en la disponibilidad de este elemento en el lago Chapo, localizado a alrededor de 40 kilómetros al noroeste de la ciudad de Puerto Montt, X Región.

Para mantener en el lago el nivel de agua requerido en la operación de la Central, el proyecto ENDESA contempla el cierre de su desagüe, donde precisamente se origina el río Chamiza, y la desviación al mismo lago, de varios cursos de agua secundarios, algunos de los cuales constituyen tributarios del Chamiza.

Una obra de ingeniería de la magnitud de Canutillar, supone la ocurrencia de alteraciones sobre la ecología de los cuerpos de agua involucrados, cuyos efectos son difícilmente predecibles ante la ausencia de antecedentes relacionados con la situación actual de los sistemas naturales a intervenir.

Entre los sistemas que podrían ser afectados por la operación del proyecto, se encuentra el área correspondiente a la desembocadura del río Chamiza (L: 42°30'30"S; G: 72°50'30"W), donde se sitúa una pradera de algas Gracilaria, que actualmente es sometida a explotación por un importante número de personas, y constituye además, una de las fuentes de materia prima para la industria de agar establecida en el país.

Ante la perspectiva que la pradera de algas sea afectada por la disminución del caudal del río Chamiza, ENDESA ha requerido de un estudio cuyo objetivo es: "Investigar los efectos de las obras de la Central Canutillar sobre la producción de la pradera de algas Gracilaria localizada en el sector de Piedra Azul, Puerto Montt, X Región".

En este contexto, se ha llevado a cabo una investigación que proporciona una primera visión de la problemática identificada, analizando los probables efectos sobre el recurso y la terraza marina en la cual se sitúa.

El informe final de la investigación está integrado por dos volúmenes: I. Resultados Generales y II. Investigaciones específicas.

II. METODOLOGIA

En el presente capítulo se proporciona una descripción general de la metodología utilizada en las diferentes investigaciones; su desarrollo en extenso, se encuentra en el volumen II que forma parte del informe final del proyecto solicitado por ENDESA.

1. Area de estudio

El área de estudio corresponde a la hoya del río Chamiza (Fig. 1), y al sector de su desembocadura, donde se sitúa la pradera de algas Gracilaria (Fig. 2).

2. Desarrollo de investigaciones

Las actividades de investigación llevadas a cabo durante el estudio, pueden ser agrupadas en tres aspectos:

- Reunión de antecedentes bibliográficos;
- Prospección del área de localización; y
- Análisis y evaluación de los resultados.

2.1 Reunión de antecedentes bibliográficos

Con objeto de reunir antecedentes sobre la productividad y producción de algas del Género Gracilaria en praderas naturales, se llevó a cabo una revisión bibliográfica, donde se consultaron trabajos de investigación relacionados con la materia y desarrollados tanto en el país, como en el extranjero.

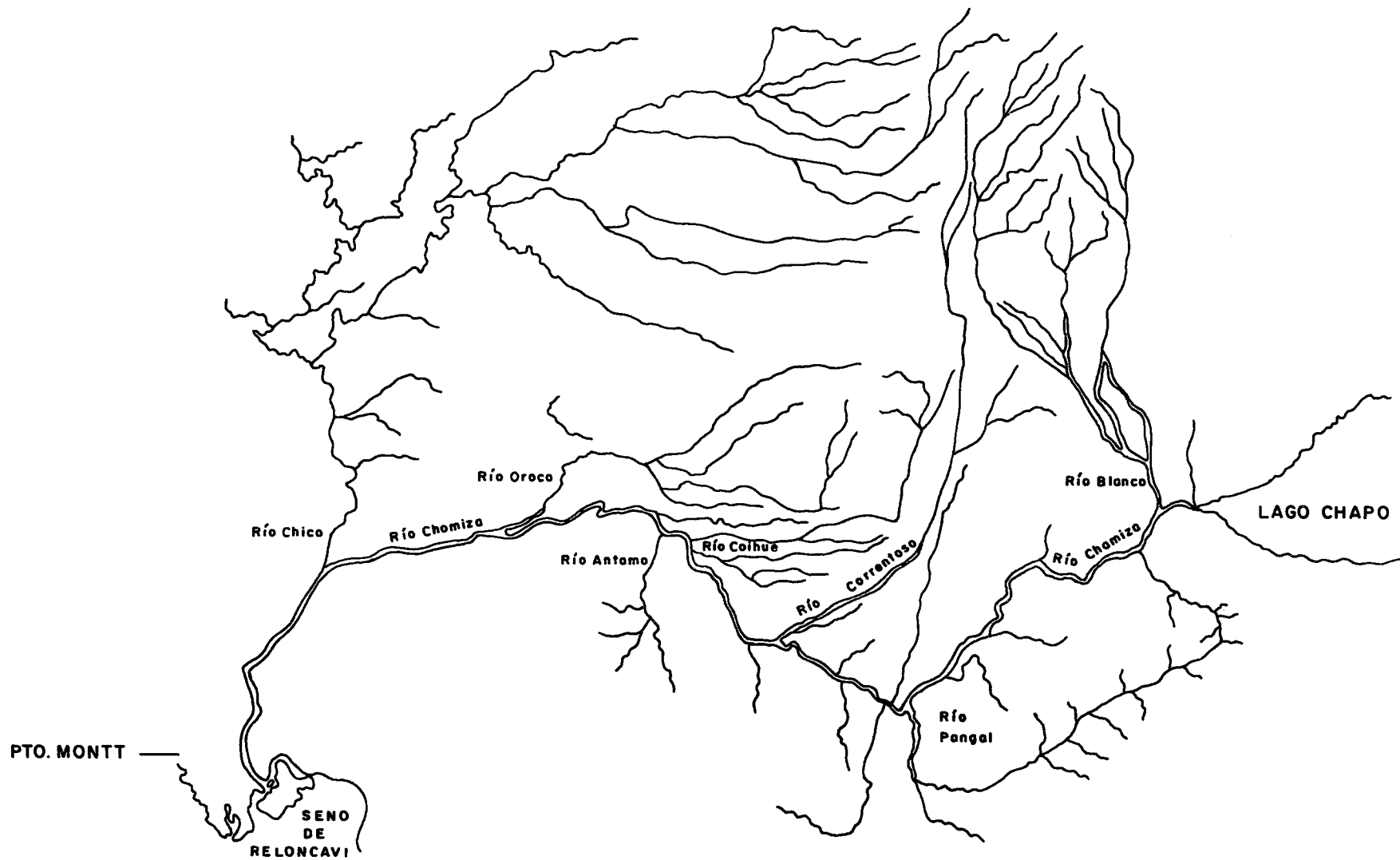


Fig. 1 Hoya del río Chamiza

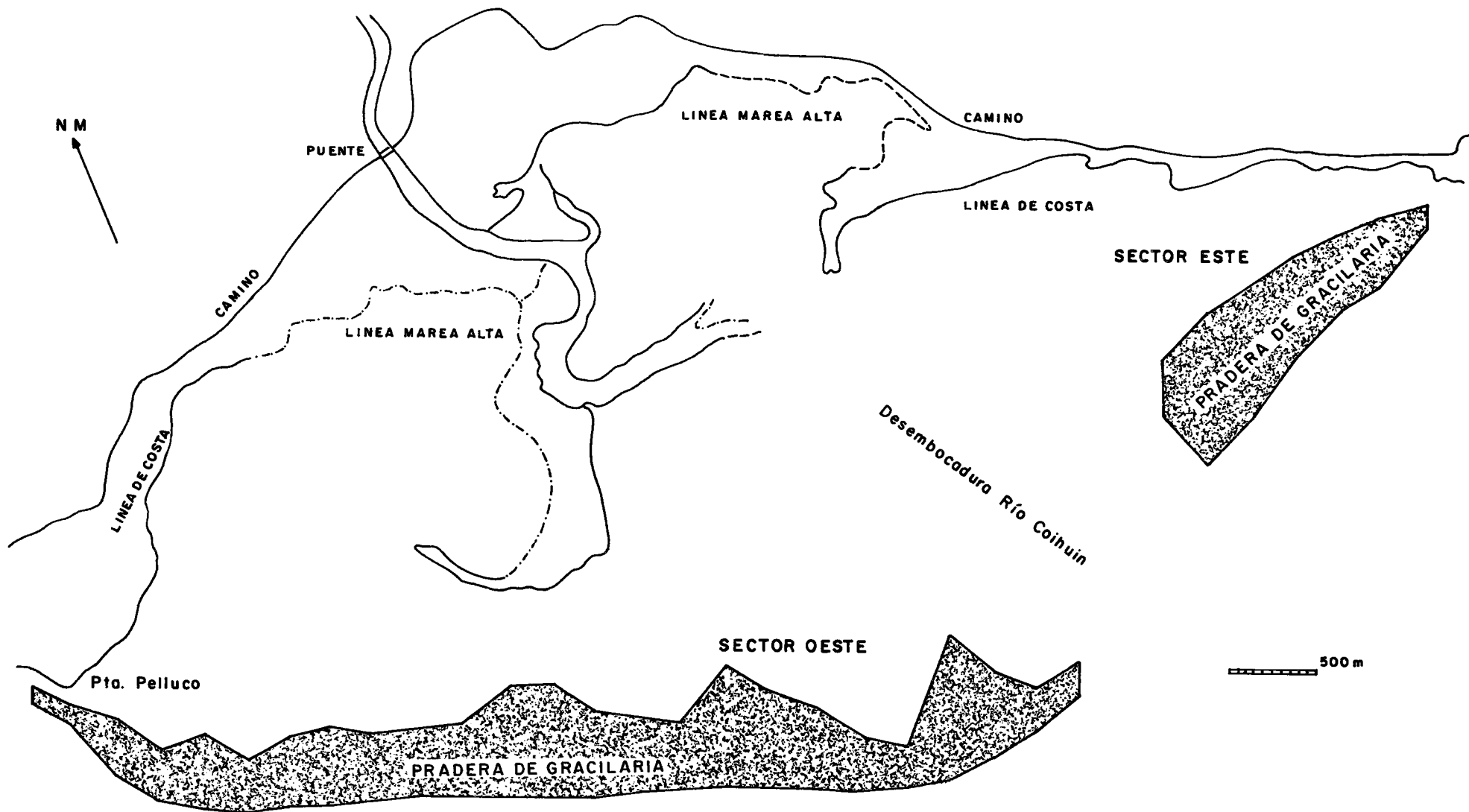


Fig. 2 Desembocadura río Chamiza o Coihuin y pradera de algas

En este contexto, la información fue recopilada en los aspectos de estudios taxonómicos, estudio del efecto de factores ambientales sobre productividad del Género Gracilaria, biomasa, productividad y producción de Gracilaria en praderas naturales y en cultivos controlados.

2.2 Prospección del área de localización

La prospección del área de localización estuvo dirigida a obtener información limnológica del río Chamiza y sus afluentes, condiciones oceanográficas en Piedra Azul, y del recurso algas existente en la pradera natural.

2.2.1 Río Chamiza y sus afluentes

Se realizaron dos prospecciones del río, desarrolladas entre el 23 y 26 de julio y entre el 3 y 6 de septiembre de 1985, considerando para esto, respectivamente un período de escasa pluviosidad y uno de abundante pluviosidad.

Los ríos muestreados en ambas ocasiones fueron los principales afluentes (Oroco, Correntoso, Chico, Blanco, Pichiblanco, Colorado 1, Colorado 2, Coihue, Antamó y Pangal), además del propio Chamiza en el sector de su desembocadura (Puente Coihuín).

Los parámetros medidos correspondieron a caudal instantáneo, temperatura del agua, pH, oxígeno, dióxido de carbono, alcalinidad, dureza total, concentración iónica de calcio, magnesio, sodio y potasio, cloruros, sulfatos, nitratos, sílice, fósforo total, conductividad y sedimentos; además de algunas variables atmosféricas en el momento del muestreo.

2.2.2 Condiciones oceanográficas en Piedra Azul

Las condiciones oceanográficas fueron medidas en muestreos realizados entre el 22 de julio y el 6 de agosto de 1985.

En este contexto, se obtuvo información de la salinidad, nutrientes, temperatura de fondo y superficie, corrientes, mareas, olas, batimetría y sustrato.

2.2.3 Prospección del recurso

Se llevaron a cabo dos prospecciones de la pradera de algas situada en Piedra Azul, durante los períodos comprendidos entre los días 17 a 24 de julio y entre los días 11 a 17 de noviembre de 1985.

Para el muestreo la pradera de algas fue subdividida en 2 áreas (Sector este y sector oeste), donde se realizaron en total 28 transectas perpendiculares a la costa.

El tamaño de la muestra en ambas ocasiones, fue de 173 estaciones, cada una de 1 m² de superficie.

2.3 Análisis y evaluación de los resultados

Para la evaluación de los resultados se realizó un tratamiento y análisis integrado de la información, con el fin de establecer un primer pronóstico de los posibles efectos que pueden ocurrir en la pradera de algas, ante una eventual disminución del caudal del río Chamiza.

En este contexto, son tres las variables básicas consideradas en el análisis preliminar: salinidad, nutrientes y sedimento; que pueden ser afectadas por la disminución del caudal.

III. PRINCIPALES RESULTADOS

Los resultados obtenidos en las diferentes investigaciones se proporcionan detalladamente en el volumen II, que integra este informe final.

En el presente documento, se entrega un resumen de los resultados relevantes obtenidos en las actividades de terreno desarrolladas durante el estudio.

1. Río Chamiza y sus afluentes

Los resultados obtenidos en los muestreos del río Chamiza y sus afluentes se proporcionan en la Tabla 1.

En general, las aguas del río Chamiza y sus afluentes, de acuerdo a los datos obtenidos en los dos muestreos, son blandas, levemente alcalinas (pH superior a 7,0), oxígeno disuelto abundante y baja concentración de dióxido de carbono y de fosfatos.

Con respecto al aporte diario de sedimento, se calculó su volumen en el río Chamiza (Coihuín), que alcanzó a 477,2 toneladas/día en julio y 798,9 toneladas/día en septiembre.

Cabe hacer notar que al comparar la pluviosidad con el caudal y el aporte de sedimento, se encuentra una relación bastante estrecha entre las dos últimas variables y la primera señalada, donde la sensibilidad del caudal a las variaciones de las precipitaciones es dada probablemente por el reducido tamaño de la hoya del lago (335 km²).

Tabla 1

Resultados de los muestreos del río Chamiza y sus afluentes (1985)

Variable	Chamiza		Afluentes *	
	julio	septiembre	julio	septiembre
Caudal (m ³ /s)	87	135	0,4 - 10,8	0,6 - 7,3
Temperatura (°C)	9,3	9,1	4,0 - 8,6	7,2 - 9,9
Oxígeno (mg/l)	11,5	8,2	10,7 - 12,5	7,8 - 10,3
CO ² (mg/l)	0,2	0,8	0,2 - 1,8	1,1 - 3,4
pH	7,07	7,54	6,80- 8,02	7,00- 7,51
Conductividad uS (25 °C)	30,3	26,6	28,0 - 56,5	27,8 - 56,8
Alcalinidad (mval/l)	0,54	0,36	0,38- 1,08	0,38- 0,76
Dureza total (mval/l)	0,245	0,221	0,254- 0,409	0,235- 0,412
Sedimento total (gr/m ³)	63,5	68,5	51,7- 105,2	47,7- 81,8
Fosfato total (mg/l)	0,002	0,004	0,001 - 0,002	0,001- 0,006
Nitrato (mg/l)	1,7	4,2	0,3 - 4,6	0,8- 12,2
Sílice (mg/l)	9,2	7,3	8,8 - 24,3	6,2- 15,6

(*) Rangos mínimo-máximo

2. Prospección del recurso

Los resultados obtenidos en las prospecciones de la pradera de algas Gracilaria se proporcionan en la Tabla 2, incluyéndose en el total, los resultados de ambos sectores de la misma (este y oeste).

Tabla 2

Resultados de las prospecciones de Gracilaria en Piedra azul (1985)

Item	Julio	Noviembre
Area (m ²)	3.350.000	3.285.000
Número muestras	173	173
Biomasa media (g/m ²)	141,03	95,93
Biomasa total (t)	472,45	315,13
Límite inferior (t)	315,73	269,51
Límite superior (t)	629,19	360,75
Error (%)	33,17	14,41

Nota: Los valores de biomasa se encuentran expresados en peso húmedo.

Al comparar los valores de biomasa obtenidos durante el muestreo de 1985, con aquellos observados en muestreos llevados a cabo en 1982, para los mismos meses, se puede señalar que los niveles actuales de recurso se encuentran por debajo de los datos históricos disponibles.

En este contexto, bajo similares condiciones de muestreo y superficie cubierta, los registros del año 1982 señalan una biomasa de 4.757 toneladas en julio y de 3.961 toneladas en noviembre, bastante superiores a la detectadas posteriormente.

Cabe hacer notar, que entre ambos años la pradera ha sido sometida a una constante explotación por parte de la población ribereña, situación que ha obligado a establecer vedas que regulen dicha actividad.

Un aspecto importante detectado durante el muestreo, está dado por una notable superficie con contenido de talos subterráneos. Este hallazgo, permite suponer, que la población de algas Gracilaria establecida en Piedra Azul, mantiene un cierto potencial de recuperación.

3. Condiciones oceanográficas en Piedra Azul

Respecto a las condiciones de temperatura y salinidad, los resultados indican que ambas variables son similares en superficie y fondo, por tanto, no existe estratificación.

Los valores de salinidad señalan por su parte, que el área de mezcla (aguas del río y mar), se encuentra reducida a la zona de la desembocadura del río, pues dichos valores se incrementan rápidamente al alejarse de ésta, a niveles cercanos a 30‰.

Con respecto a los silicatos, los valores de éstos disminuyeron en magnitud a medida que aumenta la distancia de la desembocadura del río. Dichos valores se presentan más altos que para aguas oceánicas.

Los nitratos y fosfatos se comportan de manera distinta a los silicatos, especialmente los nitratos, los cuales se incrementan a medida que aumenta la distancia de la desembocadura.

Las mediciones obtenidas en corrientes, señalan que la máxima velocidad en superficie (sicigia de perigeo), es de 1,36 m/s, mientras que a un tercio del fondo, ésta se reduce a 1,04 m/s.

En condiciones de marea de cuadratura, la máxima velocidad en superficie alcanza a 0,71 m/s, mientras que a un tercio del fondo llega a 0,59 m/s.

Las corrientes en el sector de Piedra Azul están regidas por las mareas, como tales corresponden a un sistema rotatorio infinito, el cual forma elipses de gran distancia focal, con un sentido rotatorio antihorario.

En relación a las mareas, éstas presentan una onda prácticamente similar a la observada en Puerto Montt (Puerto patrón), correspondiendo a un régimen mixto semi-diurno, con desigualdad diurna. La altura de la misma en sicigia es de 6,7 m.

Otro parámetro determinado corresponde a las olas, las cuales en un caso crítico máximo alcanza alturas significativas de 2,95 m, con una altura máxima individual de 5,62 m y un período de 7,1 segundos, mientras que en un caso modal, la altura significativa es de 0,58 m, la altura máxima individual es de 1,1 m y un período de 3,1 segundos.

La influencia de la ola en profundidad alcanza a 40 m en el caso crítico máximo, y sólo 8 m en el caso modal.

Los datos obtenidos en los muestreos de fondo señalan que el sustrato presenta una rápida disminución de tamaños granulométricos, a medida que aumenta la distancia hacia la desembocadura del río.

Las arenas gruesas se encuentran estabilizadas y conforman aproximadamente el 50% de la composición granulométrica.

La presencia de sedimentos finos en las áreas más cercanas al río indican su origen. En este contexto, y bajo el supuesto que se eliminara el aporte total de sedimentos fluviales, aquellos correspondientes a la categoría de finos, desaparecerían rápidamente, por efecto de los agentes mecánicos (olas y marejadas), no así las arenas gruesas.

Con el fin de obtener algunas proyecciones del comportamiento del sedimento para distintos caudales del río, se relacionó estadísticamente el caudal del río, determinado teóricamente en función de las precipitaciones en el Lago Chapo, con la carga de sedimentos suspendidos, obteniéndose la siguiente ecuación exponencial:

$$CSS = 2,52 * 10^{-5} * Q^{2,74}$$

donde:

CSS = carga de sedimento suspendido (g/m^3)

Q = caudal del río en desembocadura (m^3/s)

En base a esta ecuación, se puede determinar teóricamente la carga de sedimentos suspendidos en distintos niveles de caudal (Tabla 3).

Tabla 3

Carga de sedimentos suspendidos en distintos caudales
(Río Chamiza)

Caudal (m ³ /s)	Sedimentos (g/m ³)
20	0,10
30	0,28
60	1,88
100	7,61
120	12,54

Es preciso señalar que tanto la ecuación anterior, como los datos obtenidos de ella, están basados en caudales teóricos y en dos mediciones de sedimentos realizadas en el río Chamiza, por tanto, dichas observaciones deben ser consideradas a nivel referencial, hasta disponer de mayores antecedentes de terreno.

IV. ANALISIS Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS

El conjunto de datos obtenidos en las diversas investigaciones desarrolladas en este estudio, pueden ser integrados en torno a dos aspectos fundamentales:

- Efecto que tiene el caudal del río sobre la terraza marina y sobre la pradera; y,
- Situación actual de la pradera de algas.

1. Efecto del caudal del río sobre la terraza y la pradera de algas

Sobre la base del conocimiento actual de los factores que regulan la productividad de las praderas naturales de Gracilaria, tres son los de primera importancia en este análisis:

- Aumento de la salinidad;
- Aporte de nutrientes; y,
- Aporte de sedimentos

1.1 Aumento de la salinidad

En general, las praderas de algas Gracilaria ocurren a lo largo de Chile en situaciones estuarinas o influidas en alguna magnitud por agua dulce.

En este contexto, a menudo se ha postulado que la productividad de estas especies es más alta en ambientes con salinidad reducida; sin embargo, experimentos desarrollados en laboratorio, han indicado para diversas especies de Gracilaria, una productividad máxima en salinidades del orden de 30 a 35‰. Indudablemente que también

tienen una alta incidencia en este aspecto, las variables temperatura y luminosidad.

La salinidad en el área de Piedra Azul prácticamente se presenta homogénea (29 a 30‰), tanto en superficie como en el fondo. La incidencia del río, de acuerdo al caudal detectado en julio, sólo se manifiesta en los sectores más cercanos a su desembocadura (27 a 28‰), producto probablemente de las notables diferencias en los volúmenes de agua que se mezclan.

Estas observaciones permiten señalar en primera instancia, que una reducción del caudal del Chamiza, no debería afectar significativamente a esta pradera, desde un punto de vista de la salinidad.

1.2 Aporte de nutrientes

Tres son los nutrientes de mayor relevancia presentes en el aporte del río: silicatos, nitratos y fosfatos.

Respecto a los silicatos, y frente a los altos valores detectados en el río y en el área de la pradera, puede estimarse que el origen principal es precisamente el primero.

La concentración de silicatos presenta una gradiente desde la pradera, la cual permite señalar su origen.

Sin embargo, esta situación no es totalmente clara para nitratos y fosfatos, pues la gradiente se presenta en forma inversa a la observada para silicatos, detectándose los valores bajos en las cercanías de la desembocadura.

Los datos de nitratos y fosfatos medidos en el área de la pradera, respectivamente 14 a 15 μM y 1,5 a 1,8 μM , son altos si se compa-

ran con los observados en aguas costeras ($0,05 \mu\text{M}$ y $0,01 \mu\text{M}$, respectivamente), aún cuando en este tipo de áreas es posible esperar estas situaciones.

El aporte de ambos nutrientes a la pradera pareciera no depender del aporte del río. Las curvas de nutrientes tienden a indicar que sus valores decrecen consistentemente hacia la zona costera (excepto silicatos), probablemente por utilización de estas sustancias por parte de las algas.

Esta situación observada en Piedra Azul, estaría sugiriendo que el aporte más importante de estos nutrientes se originaría en su recirculación en aguas más lejanas de la costa.

Aún así, es posible esperar que una disminución del caudal del río, contribuya a minimizar el aporte de nutrientes al área, la cual pareciera ser poco significativa, frente a otras alternativas de origen de nutrientes, que probablemente existan en las cercanías de la pradera.

1.3 Aporte de sedimentos

El conjunto de datos obtenidos en la determinación de las características físico-químicas del río del Chamiza y sus afluentes, durante dos períodos de distinta pluviosidad, indica que el aporte de sedimentos realizado por el río a la pradera es considerable y, probablemente, de máxima importancia, como agente estructurador de la terraza marina sobre la cual se desarrolla actualmente la pradera de Gracilaria.

A pesar que las mediciones fueron realizadas en el río sólo en dos oportunidades (julio y septiembre), algunos de los valores obtenidos son de especial importancia.

El análisis de los sedimentos arrastrados por el río en ambas oportunidades, arrojó valores de $63,5 \text{ g/m}^3$ en julio y de $68,5 \text{ g/m}^3$ en septiembre. Es interesante hacer notar que el valor correspondiente para el río Chamiza en su lugar de nacimiento en el Lago Chapo, es de sólo 47 g/m^3 .

Los respectivos incrementos de 35% y 48,7% en julio y septiembre, corresponderían tanto a los aportes de sus afluentes, como al arrastre producido en su propio cauce.

Las mediciones realizadas indican que el total de sedimentos aportados por el río Chamiza al estuario de Piedra Azul fue de 477 t/día en julio y de 799 t/día en septiembre. Considerando la composición porcentual de estos sedimentos, para los meses estudiados, estas aguas trajeron diariamente a la terraza donde vive Gracilaria, un aporte variable de 425 (julio) y 534 (septiembre) toneladas de solutos disueltos y de 38 (julio) y 264 (septiembre) toneladas de sedimentos en suspensión.

Una vez llegados a la terraza, los sedimentos suspendidos y del lecho se depositan sobre el fondo. Esta pareciera ser la forma como se ha originado y mantenido la pradera.

Estudios de granulometría de la terraza indican una rápida disminución del tamaño de partícula a medida que aumenta la distancia desde la desembocadura del río Chamiza. Así pues, el sedimento fino (en suspensión), que aporta el río Chamiza, es de primera importancia en la estructuración de la terraza.

Con los datos disponibles hasta el momento sobre la biología de la especie, pareciera que el depósito de sedimentos cumple la importante función de modificar la superficie de la terraza, permitiendo

el enterramiento de trozos de plantas de Gracilaria. Estos trozos, por crecimiento, pueden generar nuevas plantas, las que por nuevas fragmentaciones y enterramiento, expanden la pradera.

Estos antecedentes deben ser evaluados a la luz del efecto de posibles agentes erosivos de la terraza sobre la cual ocurre la pradera, donde la mayor relevancia la tienen las variables corrientes de marea y el oleaje.

Las corrientes de marea parecen ser de menor importancia en este problema.

Al respecto, los resultados obtenidos indican que los valores de corriente serían incapaces, sobre todo en función de su forma rotatoria, de producir arrastre de sedimentos hacia profundidades mayores.

Es esperable que estas corrientes remuevan y arrastren el sedimento por distancias no mayores de 2 km antes de su retorno. En consecuencia, ellas no parecen tener un efecto mayor sobre la pérdida de sedimentos en la terraza.

Es posible que la mayor significancia de las corrientes en esta área, está dada por su sentido rotatorio antihorario, lo que explicaría el mayor crecimiento del banco hacia el oeste de la desembocadura del río Chamiza.

Una realidad totalmente distinta emerge cuando se analiza el efecto del oleaje. Dado el tamaño del grano del sustrato (grava fina y arena gruesa), su acción debería bastar para destruir frontalmente la terraza. Esto no ocurre probablemente, porque mucho de este sedimento está siendo atrapado y mantenido en la terraza por las

algas. De hecho, en algunas porciones de la pradera que carecen de algas (probablemente por sobre-explotación de este recurso), ya se nota un incremento en la pendiente del frontis de la pradera.

Un análisis integrado de estos factores permite obtener un pronóstico preliminar de cual sería la situación de la terraza frente a la disminución del caudal del río Chamiza.

Para esto se debe considerar que la terraza marina tiene un volumen total de sedimentos equivalente a 74 millones de m^3 ; esto se determina en función de su superficie (2.400 Hás) y la profundidad media de la misma (3 metros). Este volumen se encuentra constituido hasta la profundidad de 5 cm, por sedimento estabilizado en un 50% (estudio granulométrico), luego 600 mil m^3 no sufrirían cambios frente a una alteración de la situación actual, que señala un equilibrio entre el aporte de sedimento por el río, el retiro de los mismos por los agentes erosivos y la presencia de algas que protegen la superficie de la terraza.

Por otra parte, el sedimento suspendido aportado por el río es el que tiene mayor significancia. En este contexto, el río Chamiza estaría teóricamente aportando un total de 18.740 toneladas anuales de este tipo de sedimento (Tabla 4), que equivalen a 7.590 m^3 ($1 m^3 = 2,47 t$).

Este valor ha sido calculado en base al caudal mensual del río en su desembocadura, el cual a su vez fue determinado en función de la pluviosidad del Lago Chapo. El valor anteriormente señalado es superior en alrededor de un 15% al calculado por ENDESA (16.000 t/año), a través del método estándar, utilizando la curva de caudales medios clasificados del río Blanco en junta con Chamiza (Minuta OICOI, N° 10/86 de ENDESA).

Tabla 4

Carga teórica de sedimentos suspendidos en el Río Chamiza
(Puente Coihúin)

M e s e s	Caudal total (m ³ /s)	Carga de sedimentos (t/día)
Enero	46,0	3,60
Febrero	40,5	2,24
Marzo	44,5	3,18
Abril	65,6	13,59
Mayo	124,3	148,33
Junio	129,0	170,42
Julio	123,0	142,61
Agosto	101,6	69,77
Septiembre	83,7	33,80
Octubre	63,6	12,10
Noviembre	58,4	8,80
Diciembre	56,3	7,67
Carga promedio (t/día)		51,34
Carga anual (t)		18.740,24

De acuerdo a lo señalado anteriormente, el volumen de sedimento que sería afectado en la terraza es de 600 mil m^3 , los cuales están constituidos por arenas finas y limos (23% de la composición tipo) y granulometría mayor no estable.

Considerando la presencia de algas en la terraza y un corte total del sedimento aportado por el río, se estima que en el lapso de un año se perderían el total de arenas finas y limos existentes en ella (276 mil m^3), permaneciendo 324 mil m^3 de sedimento no estabilizado; éstos por efecto protector de las algas, serían removidos anualmente en un volumen equivalente al total de sedimentos suspendidos que no estarían siendo aportados. De esta forma, la pérdida total de los 5 centímetros superficiales de la terraza, ocurriría al cabo de 43 años.

Por otra parte, si no existiera Gracilaria (que protege a la terraza de la erosión), ya sea por reducción crítica en el aporte de nutrientes o por sobre-explotación, el sedimento restante no estabilizado (324 mil m^3), desaparecería en un lapso de 14 años, es decir, en un tercio del tiempo señalado anteriormente (factor de sujeción de Molton = 0,32).

Analizando la situación frente a distintos niveles de disminución de caudal y de aportes de sedimento suspendido, lo cual se ajusta a la realidad esperada a futuro, se tiene que el aporte de estos últimos se reduce significativamente en caudales desde un 30% menores a los señalados en la tabla 4; sin embargo, es preciso señalar que la situación presentada desde este punto de vista no permite asegurar, con algún grado de certeza, el nivel de probabilidad de su ocurrencia, pues los datos que soportan el análisis

corresponden a sólo dos observaciones puntuales. Esto queda demostrado en alguna forma por los resultados del análisis realizado por ENDESA y señalado anteriormente, donde a partir de la misma información de aporte de sedimento, concluye que éste sería afectado sólo en un 10,7% del total teórico actual, correspondiente al aporte de los ríos Blanco y Pangal, cuyos caudales serán derivados al Lago Chapo.

Dado que la relación caudal-sedimento suspendido para el río Chamiza, establecida con los datos disponibles, sólo permite conocer los efectos de su variación en términos cualitativos, se llevó a cabo un segundo análisis en función de la variación del aporte de este tipo de sedimentos y su efecto sobre la terraza marina (Tabla 5).

Como es posible observar en la tabla 5, el efecto de una disminución del sedimento suspendido aportado por el río Chamiza en cualquier nivel del teórico actual, podría ser significativo después de un plazo bastante largo; sin embargo, si el recurso desaparece, el lapso a transcurrir es bastante menor.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, la disminución del efecto de la operación de la central puede resultar de la combinación de dos variables: volumen de sedimento suspendido aportado a la terraza y permanencia de la pradera de algas en la misma.

2. Situación actual de la pradera de Gracilaria

Siendo de primera importancia la situación actual de la pradera para la mantención de la terraza, se encauzó una cantidad de esfuerzos para conocer su estado actual de producción.

Tabla 5

Efecto de la disminución del sedimento aportado sobre la terraza marina de Piedra Azul

Disminución del sedimento (%)	Sedimento anual aportado (toneladas)	Duración de la terraza (años)	
		con algas	sin algas
0	18.740,24	450	145
10	16.866,22	425	136
30	13.118,17	142	45
50	9.370,12	85	27
70	5.622,07	61	20
90	1.874,02	47	15
100	0	43	14

Debido a que las velocidades de crecimiento de las especies de Gracilaria dependen fuertemente de la luz y temperatura, el estudio de la pradera contempló dos muestreos: uno durante el mes de julio y representó las condiciones de invierno, mientras que el otro se llevó a cabo en noviembre, época de alta producción de la pradera. Ambas evaluaciones se realizaron en los días previos a las respectivas autorizaciones para extraer algas por parte de los pescadores artesanales ribereños.

Los patrones de productividad y distribución de biomasa ya habían sido estudiados entre diciembre de 1981 y noviembre de 1982, por una empresa consultora, a fin de aportar antecedentes para el manejo racional de este recurso en la región.

En consecuencia, luego de los muestreos realizados en este estudio, fue posible hacer comparaciones con los obtenidos en 1981-1982, y evaluar brevemente los cambios ocurridos en esta pradera durante los últimos años.

La situación encontrada en la pradera, tanto en julio como en noviembre de 1985, impresiona por su escasa producción de biomasa.

Durante julio, entre el 64 y 80% de las estaciones muestreadas (dependiendo del sector de la pradera), presentaron ausencia de talos de Gracilaria. Entre el 10 y 14% de las muestras contuvieron valores de biomasa que variaron entre 1 y 200 g/m², valores que resultan insignificantes si se comparan con la historia productiva de esta pradera.

Una situación esencialmente similar se encontró en los muestreos de noviembre. Contrario a las expectativas previas, la biomasa

de la pradera no aumentó durante este mes. La biomasa húmeda de Gracilaria estimada para la totalidad de la pradera fue de 472 toneladas en julio y de 315 toneladas en noviembre (1985).

En ambos muestreos, la pradera mostró la presencia de pequeños talos enterrados en el sustrato y aparentemente con crecimiento activo. Así, la pradera tiene talos subterráneos capaces de regenerar y producir. Esto es especialmente notable en los bordes más cercanos a la desembocadura del río Chamiza; sin embargo, y probablemente debido a la fuerte explotación a que está siendo sometida esta pradera, dichos talos son podados tan pronto como alcanzan un tamaño importante.

Una comparación con el estado de la pradera en 1982, aporta datos adicionales sobre la fuerte presión de explotación a que está siendo sometida.

En julio de 1982 la biomasa promedio en la pradera varió de 1.613 g/m^2 a 905 g/m^2 , dependiendo del sector, mientras que en noviembre los valores equivalentes fueron de 1.000 g/m^2 y de 1.684 g/m^2 . El total de biomasa encontrada en esa época fue de 4.757 y de 3.961 toneladas, respectivamente para julio y noviembre. Ambos valores son respectivamente 10,1 y 12,6 veces superiores a los detectados en la pradera durante el presente estudio.

En este momento, y ante la ausencia de experimentos adecuados, es imposible predecir si esta pradera podría recuperarse naturalmente de tan intensa explotación y llegar a ser tan productiva como en el pasado.

La presencia de talos subterráneos en porciones significativas de la pradera, sugiere que quizás bajo estrictas condiciones de control, sería posible recuperarla incrementando notablemente la biomasa y asegurando además una reducción en los efectos negativos producidos por la reducción en el aporte de los sedimentos.

Es interesante hacer notar que en experimentos realizados en 1982, se obtuvieron valores de producción de hasta $21 \text{ kg/m}^2/\text{año}$ en esta pradera, que significan producciones aproximadas de 72.000 toneladas húmedas de Gracilaria en esta terraza, bajo adecuadas condiciones de cultivo y manejo.

V. ACTIVIDADES ACUICOLAS DESARROLLADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

1. Pradera de algas Gracilaria

La pradera de algas situada en Piedra Azul ha sido sometida durante años a una intensa explotación por parte de los pescadores artesanales (algueros).

Los destinos del recurso así obtenido, son la industria nacional de agar y mercados extranjeros, principalmente Japón.

Como ha sido señalado en capítulos anteriores, la biomasa actual existente en la pradera es bastante inferior a los registros históricos de la misma. Frente a esta situación, el Servicio Nacional de Pesca (SERNAP), ha implementado un programa de cultivo de Gracilaria a nivel artesanal, cuya ubicación física se encuentra en el sector este de la desembocadura del Chamiza, donde se han instalado hasta el momento, alrededor de dos Hás. de cultivo manejadas por pescadores artesanales ribereños. La materia prima requerida para el plantado es obtenida de la misma pradera y de áreas cercanas.

Considerando que este programa va a proporcionar alternativas de ingreso a pescadores ribereños, su proyección como medida de recuperación y mantención de la pradera en su forma natural, estará limitada por la cantidad de personas que ingresen al sistema y la capacidad de ellas para manejar una cierta superficie de cultivo. Se debe tener en cuenta que la superficie de la pradera alcanza a alrededor de 300 Hás.

Como el programa pareciera ser que responde más a una necesidad social, que ecológica, la superficie cultivada estará localizada preferentemente en áreas relativamente fáciles de acceder; así mismo su expansión será lenta, lo cual no limitará que la acción de los agentes erosivos afecten a superficies importantes de la pradera, arrastrando el sedimento fino, que es el que mayoritariamente sustenta el recurso.

Por lo tanto, al no existir Gracilaria, la retención de los sólidos suspendidos llegaría a ser prácticamente nula.

2. Cultivo de salmones

Uno de los tributarios del río Chamiza, el río Correntoso, está siendo utilizado como fuente de agua para una piscicultura de salmones pertenecientes al Género Oncorhynchus (salmón del Pacífico).

La importancia del caudal del río Chamiza está dada solamente si desde dicha piscicultura se liberaran salmones al mar (sistema sea ranching).

En este contexto, la migración de salmones no debería ser afectada en forma significativa por la disminución de caudal, siempre y cuando no ocurran las siguientes situaciones:

- Modificación de la topografía del área de acceso al Chamiza y al río Correntoso; y,
- Formación de barreras naturales (saltos), en el curso utilizado para la migración hacia el río de origen.

La modificación de la topografía en las áreas de acceso a los ríos puede estar dada por embancamiento excesivo de las mismas.

En el hemisferio norte (Canadá), se han reportado disminución o desaparición de pesquerías de salmón, cuando ciertos ríos denominados "nursery" (donde se desarrollan los primeros estadios del salmón), han sufrido modificaciones radicales en su desembocadura. Sin embargo, esto no es definitivo, dado que aún no se conoce el mecanismo regulador de las migraciones de este recurso, ni los patrones que identifican un determinado curso de agua.

Como antecedente adicional, en Chile se han intentado desarrollar pisciculturas de circuito abierto en Aysén y Chiloé. Los resultados obtenidos hasta el momento son discretos, pues el retorno de los peces ha sido muy limitado en número.

Prácticamente en Chile no se tienen antecedentes completos de la respuesta de migración de los salmones, que constituyen un grupo de especies introducidas a los sistemas naturales del país. Esto ha llevado a que la mayoría de los proyectos de cultivo de salmones se encuentren basados en procesos de circuito cerrado.

De acuerdo a estos antecedentes, y considerando que no existan barreras naturales formadas por la disminución del caudal, ésta no sería la única limitante en la migración de salmones a través del Chamiza hacia el Correntoso, dado que al corresponder a una especie introducida, debería conocerse previamente su comportamiento en las condiciones actuales de los ríos.

VI. PROYECCIONES Y PERSPECTIVAS

Es preciso considerar que el estudio requerido por ENDESA ha permitido obtener sólo una visión parcial de los efectos esperados por la operación de la Central Canutillar, por tanto, las proyecciones y alternativas que se señalan a continuación, podrán sufrir modificaciones frente a la disponibilidad de mayores antecedentes y conocimiento de los sistemas naturales en el futuro.

El análisis conjunto de los datos reunidos en el estudio indica que las variables fundamentales a considerar, si se desea proyectar los efectos de la disminución del caudal del río Chamiza sobre la pradera de algas Gracilaria existente en Piedra Azul, son el aporte de sedimentos y el estado de desarrollo de dicha pradera.

El aporte de sedimentos está regulado por el caudal del río, el que a su vez es modificado por las crecidas periódicas a las cuales se encuentran sometidos este tipo de ambientes, producto de precipitaciones y deshielos.

Por otra parte, el estado de la pradera puede ser manejable, si se llevan a cabo los estudios correspondientes para desarrollar prácticas de plantación, expandiendo los límites actuales de misma (para asegurar al mismo tiempo, mayor superficie de captación de sedimento), midiendo su productividad bajo sistemas de fertilización artificial y sometiéndola a prácticas alternativas de cosecha controlada, a fin de asegurar una explotación racional.

En el orden específico, se analizan dos alternativas de situaciones, que podrían ocurrir en el sector Piedra Azul.

Para estos casos se ha considerado un corte total y disminuciones del aporte de sedimentos suspendidos desde el río Chamiza a distintos niveles del actual, como base de análisis de las alternativas, frente a la escasa disponibilidad de antecedentes históricos del río en su desembocadura.

1. Corte del aporte de sedimentos suspendidos desde el río Chamiza y estado actual de la pradera

Esta situación se señala con objeto de explicar el efecto de las distintas variables que se conjugan en la terraza, y supone el corte total del aporte de sedimentos y la presencia de Gracilaria.

Frente a esto, la acción del oleaje empezaría a destruir frontalmente la terraza. Simultáneamente, y en un año, ésta perdería la totalidad de los sedimentos finos y limos, que incidiría sin duda en la productividad de la pradera al segundo año.

Dado que los valores de productividad están ya deprimidos por sobre-explotación, y en el supuesto que dicha sobre-explotación se mantuviera, es posible que en tres años la biomasa presente en la pradera sea sólo del 1/10 del valor de biomasa actual. Probablemente, al final del quinto año de ausencia de aporte, la producción de Gracilaria sea cero.

Por otra parte, y como consecuencia del arrastre de sedimento por oleaje, la terraza estaría totalmente erosionada al final del decimocuarto año de ocurrida la desaparición del aporte.

2. Disminución del sedimento aportado por el río con manejo racional de la pradera

Si bien es cierto que aún faltan los experimentos adecuados para poder evaluar la productividad de la pradera y predecir sobre su capacidad de recuperación, esta alternativa supone que a través de una combinación de estudios biológicos y pesqueros, resulta posible preservar esta población de algas, aumentando sus niveles de producción a lo menos a aquellos existentes en 1982.

En este contexto, se debe considerar que ha existido, y existe, un equilibrio entre la acción de tres factores, el aporte de sedimentos por parte del río, la presencia de algas como trampa de sedimentos y la remoción de estos por efecto del oleaje. Por tanto, al disminuir o desaparecer uno de ellos, el equilibrio sufriría modificaciones que llevarían a limitar fuertemente la potencialidad que tienen la terraza marina, base de desarrollo y permanencia de Gracilaria en el tiempo, como recurso económico.

Considerando que el aporte de sedimentos por parte del río sufra alteraciones a cualquier nivel del teórico actual, la existencia de la terraza marina estaría fuertemente ligada a la presencia de algas que protejan el efecto erosivo del oleaje. Esto significa la mantención de la vegetación de la terraza, proyectando incluso, su expansión en superficie.

Estando presente Gracilaria, se estima que aportes disminuidos hasta un 70%, permitirían que la vida útil de la terraza marina, y por ende de la pradera, se extendería por un plazo superior a 60 años. Niveles inferiores asegurarían un plazo mínimo de 43 años. Sin embargo, si desaparece la pradera, el tiempo probable de duración de la terraza sería sólo de 14 años.

VII. NECESIDADES DE ESTUDIO

1. Antecedentes

Considerando el análisis y evaluación de los resultados obtenidos en el presente estudio, nace la necesidad de disponer de antecedentes más completos en relación a los sistemas naturales involucrados en el proyecto ENDESA, de esta forma, será posible agregar capacidad predictiva a los estudios terminados.

Identificando preliminarmente los efectos de la operación de la Central y las posibles soluciones para reducirlos, que pueden ser llevadas a cabo a través de acciones desarrolladas en el área, se plantean estudios básicos, que configuran un plan de investigaciones de largo plazo, y que integran fundamentalmente el manejo de la pradera y el conocimiento del comportamiento del río y de la terraza marina.

Al señalar un largo plazo, se define que la información obtenida en terreno, debe contemplar un mínimo de un año (13 meses) de registro continuado, a través de observaciones mensuales.

2. Identificación de estudios

Algunos de los estudios aquí identificados pueden ser impulsados no solamente por ENDESA, sino también por aquellos Organismos del Estado responsables de la administración y manejo de los recursos naturales del país (Subsecretaría de Pesca y Servicio Nacional de Pesca).

2.1 Análisis del caudal y de los sedimentos

Los datos ya logrados son restringidos a dos días en el año y, aunque ellos permiten realizar algunas predicciones, son insuficientes para determinar acertadamente el caudal de río y el aporte de sedimentos.

En este contexto, es de real importancia llegar a determinar la capacidad de arrastre de sedimentos suspendidos por el río Chami-za y sus afluentes, dado que estas variables resultan importantes para la permanencia de la terraza marina y de la pradera de algas.

2.2 Análisis más detallado de la terraza

El comportamiento de la terraza marina sobre la que ocurre la pradera de algas, es dinámico, y se conjugan los aportes de sedimento del río, la acción de los agentes erosivos y la existencia de algas.

Estos tres factores están en equilibrio, por tanto la ausencia de alguno de ellos podrá incidir notablemente en los efectos que produzcan los restantes.

Esto en gran medida puede evaluarse con certeza, si se conocen los patrones de cambio que presenta la terraza (perfiles, topografía, composición del sedimento, etc.), en una escala más prolongada en el tiempo.

2.3 Estudio oceanográfico de balance de nutrientes y salinidad

Si bien es cierto que la salinidad parece no afectar al recurso algas Gracilaria, es necesario conocer su patrón de conducta conjuntamente con los nutrientes, pues aunque éstos aparentemente no

tendrían su origen sólo en el río, se debe establecer su fuente, de tal manera de poder analizar los posibles cambios que ocurran una vez reducido el caudal.

Es preciso señalar que las mediciones obtenidas en esta oportunidad, corresponden al período invernal. Ambas variables pueden tener cambios importantes durante la estación estival, que son necesarios de conocer.

2.4 Estudios de productividad del alga

Estos estudios son de primera necesidad a fin de evaluar el valor económico actual de la pradera, suposibilidad de recuperación y de disminuir la velocidad de erosión de la terraza por el oleaje.

2.5 Estudios de plantación y arraigamiento

Estos estudios serían necesarios para desarrollar un método rápido de plantación de Gracilaria en las porciones de la terraza donde ya no existe, a fin de incrementar la cubierta vegetal.

2.6 Estudios de manejo de la pradera

Una vez que la cubierta vegetal se encuentre restituida, será necesario establecer una explotación racional de la pradera, sin que se corran riesgos de sobre-explotarla.

Esto significa evaluar la periodicidad, las herramientas a utilizar, los tamaños de las plantas a cosechar y otra serie de características que permitan desarrollar prácticas de poda y aseguren su regeneración. Implícito en las prácticas de manejo, está la necesidad de organizar a los extractores y regular sus actividades.

2.7 Prospección de la pradera de Piedra Azul

Independientemente de la realización de los estudios anteriormente señalados, es recomendable realizar una prospección de la pradera de algas establecida en Piedra Azul, con el fin de evaluar la biomasa existente antes del inicio de las operaciones de la Central Canutillar.

En este contexto, y considerando la puesta en marcha para el año 1991, es necesario desarrollar dicha prospección durante el año 1990, y dirigida a dos períodos de producción (invierno y verano). De esta forma, será posible conocer el estado del recurso en una situación inmediatamente anterior a la puesta en marcha de la central hidroeléctrica.

3. Estudios recomendados para su desarrollo por ENDESA

Entre los estudios señalados en el punto anterior, es posible recomendar a ENDESA el desarrollo de aquellos directamente relacionados con los cuerpos de agua (río Chamiza y afluentes) y los estudios oceanográficos y de la terraza marina.

Dado que la permanencia del recurso Gracilaria en el área de Piedra Azul no sólo dependerá de la variación del sedimento aportado por el río, sino también del grado de explotación que siga existiendo en el futuro, e independientemente a lo que resuelva ENDESA sobre la materia, los estudios relacionados con el recurso mismo, deberían ser desarrollados, directa o indirectamente, por los organismos de administración, pues a ellos en definitiva corresponde la decisión de manejo de la pradera establecida en dicho sector.

Sin perjuicio de lo anterior, es recomendable que ENDESA desarrolle el estudio de prospección de la pradera de algas inmediatamente antes de iniciar la operación de la Central, el cual puede tener un costo de alrededor de US \$ 10.000 (moneda de febrero de 1986).

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La información obtenida en el presente estudio permite señalar que la terraza marina donde se sitúa la pradera de algas Gracilaria de Piedra Azul, se encuentra actualmente en equilibrio, frente a la acción del río, que aporta sedimentos, la presencia de algas, que atrapan el sedimento en suspensión y la protegen de la acción de los agentes erosivos, que retiran sustrato.
2. La pradera de algas situada en Piedra Azul se encuentra en un alto grado de sobre-explotación, producto probablemente de la intensa extracción llevada a cabo por pescadores ribereños, de tal forma que los niveles de biomasa detectados en julio y noviembre de 1985, son respectivamente 10,1 y 12,6 veces inferiores a los observados en los mismos meses del año 1982.
3. La disminución del caudal del río Chamiza afectaría principalmente al aporte de sedimentos suspendidos que recibe la terraza marina; mientras que la salinidad y los nutrientes, con excepción de los silicatos, no sufrirían alteraciones significativas.
4. En términos cuantitativos es probable que una disminución de hasta un 70% del actual aporte de sedimentos suspendidos, y manteniendo una alta presencia del recurso Gracilaria, la terraza marina tendría una vida útil superior a 60 años, lapso que se reduciría a 14 años si el recurso desaparece.

5. El análisis de los resultados indicó que la presencia de Gracilaria es un factor determinante en la disminución del efecto del menor aporte de sedimento suspendido, contribuyendo en forma significativa a proteger el sedimento de la terraza marina, de los agentes erosivos.

6. Se ha detectado la necesidad de desarrollar estudios más prolongados en el tiempo, de tal forma de obtener los antecedentes requeridos para agregar capacidad predictiva a los resultados aquí obtenidos y para configurar acciones que contribuyan significativamente a disminuir los efectos de la operación de la Central Canutillar sobre la pradera de algas Gracilaria existente en Piedra Azul.